

周文银,李文阳,李浩杰,等. 种植密度对小麦籽粒淀粉品质与茎秆抗倒性能的调控效应[J]. 江苏农业科学,2024,52(4):108-114.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.04.015

种植密度对小麦籽粒淀粉品质 与茎秆抗倒性能的调控效应

周文银¹,李文阳¹,李浩杰¹,张士雅¹,邵庆勤¹,朱守晶¹,汪建来²,闫素辉¹

(1.安徽科技学院农学院,安徽凤阳 233100; 2.安徽省农业科学院作物研究所,安徽合肥 230031)

摘要:为探究种植密度对小麦籽粒淀粉品质及茎秆抗倒性能的调控效应,以小麦品种茎麦 725 为材料,设置 D1 (180 万株/hm²)、D2 (240 万株/hm²)、D3 (300 万株/hm²)、D4 (360 万株/hm²) 4 个密度水平,研究种植密度对小麦籽粒淀粉品质与茎秆抗倒性能的影响。结果表明:随着密度水平的增加,小麦籽粒 B 型淀粉粒体积、表面积百分比呈上升趋势,A 型淀粉粒体积、表面积百分比呈下降趋势。在 B 型淀粉粒中,密度对粒径 0.1~2.8 μm 淀粉粒组影响较大,在 A 型淀粉粒中,密度对粒径 10~22 μm 淀粉粒组影响较大。密度对淀粉粒数量分布无显著影响。适宜密度水平下,显著提高了小麦籽粒蛋白质、湿面筋、淀粉含量及产量;植株形态指标中的株高、重心高和节间长呈先增加后降低的趋势,D3 密度水平下小麦茎秆机械强度最强,抗倒伏指数最高;小麦抗倒伏指数与重心高呈显著负相关,与株高、基部节间长呈极显著负相关,表明小麦倒伏受株高、重心高及节间长影响,小麦株高和重心高越低,则基部节间长越短,抗倒伏指数就越高,茎秆抗倒性能越强;由相关分析可知,小麦抗倒伏指数与重心高呈显著负相关,与株高、基部节间长呈极显著负相关。可见,适宜的密度水平有利于增加 B 型淀粉粒占比、降低 A 型淀粉粒占比,进而提高淀粉峰值黏度等黏度参数,同时适宜的密度水平有利于提高茎秆抗倒能力,进而提高小麦产量和籽粒品质。在本试验条件下茎麦 725 的最适宜种植密度为 300 万株/hm²。

关键词:小麦;种植密度;淀粉含量;糊化特性;抗倒性能

中图分类号:S512.104 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)04-0108-06

北美等软质小麦籽粒硬度低,蛋白质含量低、面筋强度弱、吸水率低,适于制作糕点、饼干、蛋糕等^[1]。随着经济发展和人民生活水平的提高,我国软质小麦市场需求量不断增加,但由于缺少优质软质小麦原料,需要从美国等国家进口优质软质小麦^[2]。传统食品(如南方馒头等)对软质小麦的要求是有差异的,我国软质小麦籽粒品质与国外软质小麦又有较大差异^[3]。有研究表明,软质小麦品质稳定性易受环境或不当栽培措施的影响,其中环境条件对品质影响大于遗传因子,光照、温度等气候因子对小麦品质形成至关重要^[4-5]。

倒伏易受栽培环境和品种遗传特性的影响^[6]。衡量小麦抗倒伏能力的指标主要有株高、基部节间壁厚、茎秆化学成分等^[7]。前人研究发现,随着种植密度增加,小麦植株形态特征发生变化,基部节间长、株高和重心高度呈增加趋势,继而茎秆机械强度和抗倒伏指数降低,倒伏风险就越大^[8-9]。淀粉对小麦的加工品质起着关键作用,淀粉是小麦籽粒化学成分中所占比例最大的成分,一般达 65%~70%^[10]。淀粉贮存于籽粒胚乳中,主要形式为粒径不同的淀粉粒。按粒径大小主要可分为 A 型(粒径>10 μm)和 B 型(粒径≤10 μm)2 种类型淀粉粒^[11-12]。淀粉的主要化学特性是糊化特性和凝沉特性,可以通过黏度快速分析仪测定的黏度曲线反映出来。淀粉粒度分布特征与黏度参数密切相关,对小麦籽粒淀粉品质有显著影响^[13]。有研究表明,小麦淀粉粒度分布取决于遗传、环境等诸多因素共同调控影响^[14]。谭植等研究发现,随施钾量增加,粒 B 型淀粉粒体积、表面积百分比显著提高,A 型淀粉粒体积、表面积百分比显著降低^[15]。张润琪等研究发现,A、B 型淀粉粒在不同施磷水平的基本形

收稿日期:2023-06-12

基金项目:安徽省高校协同创新项目(编号:GXXT-2021-089);安徽省现代农业产业技术体系建设专项资金(小麦);安徽省自然科学基金(编号:1408085MC48)。

作者简介:周文银(1998—),女,安徽铜陵人,硕士研究生,主要从事作物栽培生理研究。E-mail:1992118972@qq.com。

通信作者:闫素辉,博士,教授,主要从事小麦高产优质栽培技术研究,E-mail:yansh@ahstu.edu.cn;汪建来,研究员,主要从事小麦育种与品质生理研究,E-mail:2804011975@qq.com。

态未发生明显变化^[16]。前人研究围绕磷、钾肥对小麦籽粒淀粉粒度分布和黏度参数影响研究较多,而关于不同密度水平下籽粒淀粉品质与茎秆抗倒性能的调控效应方面研究较单薄。因此,本研究选用软质小麦荃麦 725,设置不同密度水平,分析不同密度水平下籽粒淀粉品质与茎秆抗倒性能的调控效应,旨在为小麦生产上选择合理密植提供理论借鉴。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2020—2021 年在安徽科技学院种植科技园进行。供试材料为软质小麦品种荃麦 725,设置 4 个密度梯度: D1、D2、D3、D4 (180 万、240 万、300 万、360 万株/hm²)。试验地前茬为玉米,土壤类型为黏壤土,速效氮、速效磷、速效钾含量分别为 53.4、15.0、60.4 mg/kg。氮、磷、钾肥施用量(按 N、P₂O₅、K₂O 计)分别为 180、90、90 kg/hm²,所用肥料分别为尿素(含 N 46%)、过磷酸钙(含 P₂O₅ 12%)、氯化钾(含 K₂O 60%),磷、钾肥全部底施,氮肥的基追比为 7:3,追肥在拔节期结合降雨施入。小麦于 2020 年 10 月 18 日播种,小区面积 9 m² (3 m × 3 m),每个小区 10 行,行距 25 cm,采用随机区组设计,3 次重复。2021 年 5 月 26 日收获,田间管理同一般大田生产。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 产量及构成因素测定 在小麦抽穗期调查各处理有效穗数,成熟期调查穗粒数。每小区随机挑取 1 m² 长势均匀的区域进行测产,小麦分扎晒干脱粒,考种称质量,数取 1 000 粒籽粒,称质量记为千粒质量,每个处理重复 3 次。

1.2.2 籽粒品质及淀粉粒提取、粒度分布、糊化黏度参数测定 利用波通公司 DA7200 近红外品质分析仪,测定小麦籽粒品质。参照蔡瑞国等的方法^[17]提取淀粉粒。淀粉粒径分析用 LS13320 衍射粒度分析仪分析,淀粉糊化参数用快速黏度分析仪

(starchmaster-2,瑞典波通公司)进行粒径分析。

1.2.3 株高、重心高、节间长度测定 成熟期在每处理每小区选取 15 株长势均匀一致的单株,进行株高和重心高测定,再将小麦基部第二节间用剪刀剪下,用直尺测量距离,记为节间长度。

1.2.4 基部第二节间干质量、壁厚、茎粗系数和节间充实度测定 用剪刀剪下基部第二节间,剥去外部茎鞘,用游标卡尺测量基部第二节间的壁厚和直径。茎粗系数 = 节间的直径/节间的长度^[18]。用电子天平称基部第二节间质量记为节间鲜质量,先用 105 ℃ 杀青 1 h,再用 75 ℃ 恒温烘干称量记为干质量。节间充实度 = 茎秆节间干质量/茎秆节间长度 × 100%。

1.2.5 倒二节间抗折力、针刺力和抗倒伏指数测定 随机挑取 15 株长势均匀单株,使用 YDD-1 茎秆强度测定仪分别测定倒二节间的抗折力、针刺力。抗倒伏指数 = 单茎基部折抗力/植株重心高。

1.2.6 半纤维素、纤维素及其木质素含量测定 以小麦第二节间茎秆为测定对象,最后测出节间结构碳水化合物的含量^[19]。

1.3 数据处理与分析

采用 Excel 2019 整理数据,用 DPS 7.05 对数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 种植密度对籽粒产量及其构成因素的影响

由表 1 可知,种植密度对小麦穗数、穗粒数、千粒质量和产量均有显著影响。种植密度在 D1 ~ D3 范围内,随着密度增大,小麦穗粒数呈下降的趋势,穗数和千粒质量呈先上升后下降的趋势。D2 水平较 D1 水平产量增加了 234.93 kg/hm²,D2 水平较 D3 水平产量减少了 68.27 kg/hm²,D3 水平较 D4 水平产量增加了 35.47 kg/hm²,D3 小麦产量最高。可见,适宜的密度水平有利于小麦产量的提高。

表 1 不同种植密度对小麦产量及其构成因素的影响

种植密度	穗数 (万穗/hm ²)	穗粒数 (粒/穗)	千粒质量 (g)	产量 (kg/hm ²)
D1	445.00 ± 11.43c	53.83 ± 3.47a	43.45 ± 1.43b	7 229.40 ± 80.84b
D2	533.00 ± 34.19b	47.33 ± 0.82b	45.99 ± 2.01ab	7 464.33 ± 123.39a
D3	705.33 ± 2.62a	42.50 ± 1.63c	51.13 ± 4.44a	7 532.60 ± 123.18a
D4	697.33 ± 14.52a	40.42 ± 0.62c	40.83 ± 0.81b	7 497.13 ± 95.28a
F 值	93.65 **	22.84 **	5.93 *	5.29 *

注: *、** 分别表示在 0.05、0.01 水平上差异显著。表 2 至表 10 同。

2.2 种植密度对籽粒品质的影响

2.2.1 种植密度对籽粒品质性状的影响 由表 2 可知,种植密度对小麦籽粒蛋白质和淀粉含量均有显著影响,而对湿面筋含量无显著影响。种植密度在 D1 ~ D3 范围内,随着密度水平的增加,小麦籽粒蛋白质含量呈上升的趋势,淀粉含量呈下降的趋势。D3 水平下籽粒蛋白质含量最高,淀粉含量最低。可见,适宜的密度水平下有利于小麦蛋白质的提升。

2.2.2 种植密度对小麦淀粉粒体积分布的影响 由

表 2 不同种植密度对小麦籽粒蛋白质、湿面筋和淀粉含量的影响

种植密度	蛋白质含量 (%)	湿面筋含量 (%)	淀粉含量 (%)
D1	15.63 ± 0.17c	33.97 ± 0.48a	68.43 ± 0.25a
D2	15.70 ± 0.33bc	32.40 ± 0.41b	67.87 ± 0.21ab
D3	16.00 ± 0.23a	32.90 ± 0.83ab	67.27 ± 0.26b
D4	15.86 ± 0.25ab	32.76 ± 1.25ab	68.15 ± 0.50a
F 值	8.68 **	2.37	4.47 *

表 3 不同种植密度对小麦淀粉粒体积分布的影响

种植密度	淀粉粒体积分布 (%)					
	0.1 ~ 2.8 μm	2.8 ~ 10 μm	≤ 10 μm	> 10 μm	10 ~ 22 μm	> 22 μm
D1	10.42 ± 0.40b	22.87 ± 0.28b	33.29 ± 0.27b	66.71 ± 0.12a	32.78 ± 0.36a	33.93 ± 0.38a
D2	10.52 ± 0.19a	25.08 ± 0.13a	35.60 ± 0.66a	64.40 ± 0.30b	32.43 ± 0.08a	31.97 ± 0.23b
D3	10.62 ± 0.19a	25.21 ± 0.52a	35.83 ± 0.73a	64.17 ± 0.33b	32.26 ± 0.24a	31.91 ± 0.57b
D4	10.78 ± 0.11a	25.27 ± 0.41a	36.05 ± 0.94a	63.95 ± 0.42b	32.15 ± 0.43a	31.80 ± 0.01b
F 值	1.04	30.40 **	27.91 **	27.91 **	1.37	12.16 **

表 4 不同种植密度对小麦淀粉粒表面积分布的影响

种植密度	淀粉粒表面积分布 (%)					
	0.1 ~ 2.8 μm	2.8 ~ 10 μm	≤ 10 μm	> 10 μm	10 ~ 22 μm	> 22 μm
D1	50.87 ± 0.64b	26.14 ± 0.24b	77.01 ± 0.79c	22.99 ± 0.68a	13.03 ± 0.54a	9.96 ± 0.42a
D2	51.84 ± 0.64ab	27.33 ± 0.62a	79.17 ± 1.15bc	20.83 ± 0.99ab	12.10 ± 0.31a	8.73 ± 1.14ab
D3	52.32 ± 0.61ab	27.94 ± 0.18a	80.26 ± 0.47ab	19.74 ± 0.41bc	12.43 ± 0.26a	7.31 ± 0.71b
D4	53.43 ± 0.33a	28.22 ± 0.42a	81.65 ± 0.62a	18.35 ± 0.54c	11.12 ± 0.30b	7.23 ± 0.75b
F 值	5.33 *	12.28 **	9.65 *	9.65 *	8.84 *	4.05

2.2.4 种植密度对淀粉粒数量分布的影响 由表 5 可知,种植密度对小麦淀粉粒数量分布无显著影响。B 型淀粉粒数量占总体积百分比 99.88% ~ 99.89%, A 型淀粉粒数量占总体积百分比 0.11% ~ 0.12%。可见,小麦淀粉粒数目主要由 B 型淀粉粒构成。

2.2.5 种植密度对淀粉黏度参数的影响 由表 6

表 3 可知,种植密度对小麦淀粉粒体积分布有显著影响。随着密度水平的增加,B 型淀粉粒体积百分比呈上升的趋势,A 型淀粉粒体积百分比呈下降的趋势。B 型淀粉粒中,与粒径 0.1 ~ 2.8 μm 淀粉粒组相比,密度对粒径 2.8 ~ 10 μm 淀粉粒组的影响最大;A 型淀粉粒中,与粒径 10 ~ 22 μm 淀粉粒相比,密度对粒径 > 22 μm 淀粉粒组的影响最大。可见,适宜的密度水平有利于 B 型淀粉粒体积的增加。

2.2.3 种植密度对表面积分布的影响 由表 4 可知,种植密度对小麦淀粉粒表面积分布有显著影响。随着种植密度水平的增加,B 型淀粉粒表面积分布百分比显著增大,A 型淀粉粒表面积分布百分比显著降低。B 型淀粉粒中,与粒径为 0.1 ~ 2.8 μm 淀粉粒组相比,种植密度对粒径为 2.8 ~ 10 μm 淀粉粒组的影响最大;A 型淀粉粒中,与粒径为 > 22 μm 淀粉粒组相比,种植密度对粒径 10 ~ 22 μm 淀粉粒组影响最大。可见,适宜的密度水平有利于 B 型淀粉粒表面积的增大。

可知,种植密度对小麦峰值黏度、稀懈值、回升值、低谷黏度有显著影响。种植密度在 D1 ~ D3 范围内,随着种植密度水平的增加,低谷黏度、峰值黏度、稀懈值、最终黏度和回升值均呈上升的趋势。D3 密度水平下峰值黏度和稀懈值等参数最高。表明,适宜的密度水平有利于提高小麦峰值黏度等黏度参数。

表 5 不同种植密度对小麦淀粉粒数量分布的影响

种植密度	淀粉粒数量分布 (%)					
	0.1 ~ 2.8 μm	2.8 ~ 10 μm	$\leq 10 \mu\text{m}$	> 10 μm	10 ~ 22 μm	> 22 μm
D1	97.89 \pm 0.01a	2.00 \pm 0.01b	99.89 \pm 0.00a	0.11 \pm 0.00b	0.09 \pm 0.00a	0.02 \pm 0.00a
D2	97.73 \pm 0.09b	2.15 \pm 0.09a	99.88 \pm 0.01ab	0.12 \pm 0.01ab	0.10 \pm 0.00a	0.02 \pm 0.00a
D3	97.72 \pm 0.06b	2.17 \pm 0.06a	99.89 \pm 0.00a	0.11 \pm 0.00b	0.10 \pm 0.01a	0.01 \pm 0.00a
D4	97.69 \pm 0.07b	2.19 \pm 0.06a	99.88 \pm 0.01b	0.12 \pm 0.01a	0.10 \pm 0.02a	0.02 \pm 0.00a
F 值	7.67*	6.87*	2.67	3.00	2.00	2.20

表 6 不同种植密度对小麦淀粉粒黏度参数的影响

种植密度	峰值黏度 (cP)	低谷黏度 (cP)	最终黏度 (cP)	稀懈值 (cP)	回升值 (cP)
D1	920.00 \pm 2.16c	651.33 \pm 12.28c	1 263.00 \pm 11.00a	267.67 \pm 8.65c	594.67 \pm 11.90c
D2	937.50 \pm 1.87c	658.00 \pm 3.74bc	1 269.00 \pm 28.00a	280.00 \pm 14.24bc	627.33 \pm 19.01bc
D3	1 069.00 \pm 2.16a	709.00 \pm 4.11a	1 354.50 \pm 18.50a	352.67 \pm 7.36a	666.33 \pm 7.13a
D4	963.50 \pm 12.66b	667.50 \pm 1.70b	1 286.50 \pm 12.50a	307.33 \pm 12.86b	644.00 \pm 11.52ab
F 值	172.76**	31.82**	3.91	20.69**	8.88*

2.3 种植密度对倒伏相关指标的影响

2.3.1 种植密度对植株形态指标的影响 由表 7 可知,种植密度对小麦植株的重心高、株高和基部节间长均有显著影响。种植密度在 D1 ~ D2 范围内,随着种植密度水平的提高,小麦株高、重心高、基部节间长均呈上升的趋势。D3 水平下小麦植株的株高、重心高、基部节间长均较低。表明适宜的密度水平有利于小麦抗倒性能的提高。

表 7 不同种植密度对植株的株高、重心高、节间长度的影响

种植密度	株高 (cm)	重心高 (cm)	节间长 (cm)
D1	71.03 \pm 1.24ab	42.68 \pm 0.50bc	7.18 \pm 0.15bc
D2	72.01 \pm 0.58a	43.71 \pm 0.08ab	7.44 \pm 0.10ab
D3	69.68 \pm 0.52b	41.70 \pm 0.53c	6.89 \pm 0.06c
D4	73.01 \pm 1.37a	44.22 \pm 0.59a	7.69 \pm 0.29a
F 值	5.23*	8.80*	6.23**

2.3.2 种植密度对植株茎秆特征的影响 由表 8 可知,种植密度对小麦植株的节间干质量、节间壁厚、节间茎粗系数和节间充实度均有显著影响。种植密度在 D1 ~ D2 范围内,随着密度水平的提高,小麦基部节间壁厚、节间干质量、节间充实度和茎粗系数均呈下降的趋势。D3 水平下节间干质量、节间壁厚、茎粗系数和节间充实度最大。表明适宜的密度水平有利于小麦抗倒性能的提高。

2.3.3 种植密度对茎秆机械强度和抗倒伏指数的影响 由表 9 可知,种植密度对小麦植株基部第二

表 8 不同种植密度对植株基部第二节间形态学特征的影响

密度	节间干质量 (g)	节间壁厚 (mm)	茎粗系数 (%)	节间充实度 (%)
D1	0.11 \pm 0.01a	0.75 \pm 0.03ab	0.62 \pm 0.03b	3.10 \pm 0.06b
D2	0.10 \pm 0.01ab	0.71 \pm 0.03bc	0.58 \pm 0.05bc	2.80 \pm 0.17b
D3	0.13 \pm 0.01b	0.78 \pm 0.03a	0.69 \pm 0.01a	3.78 \pm 0.13a
D4	0.09 \pm 0.01b	0.66 \pm 0.01c	0.55 \pm 0.02c	2.48 \pm 0.12b
F 值	5.56*	7.56*	11.46**	8.72*

节间抗折力、针刺力和抗倒伏指数均有极显著影响。种植密度 D1 ~ D2 范围内,随着密度水平的提高,基部抗折力、针刺力和倒伏指数均呈下降的趋势。D3 水平下小麦茎秆抗折力、针刺力最大,抗倒伏指数最高。表明适宜的密度水平有利于茎秆机械强度的增强。

表 9 不同种植密度对植株基部第二节间机械强度

种植密度	抗折力 (N)	针刺力 (N)	抗倒伏指数 (%)
D1	11.90 \pm 1.12a	11.21 \pm 0.60b	0.28 \pm 0.02a
D2	9.36 \pm 0.37b	10.67 \pm 0.56bc	0.21 \pm 0.01b
D3	13.29 \pm 0.58a	12.82 \pm 0.78a	0.32 \pm 0.02a
D4	8.25 \pm 0.35b	9.51 \pm 0.65c	0.19 \pm 0.01b
F 值	20.51**	10.10**	25.63**

2.3.4 种植密度对结构性碳水化合物的影响 由表 10 可知,种植密度对小麦基部茎秆纤维含量和木

质素含量均有显著影响。种植密度 D1 ~ D2 范围内,随着密度水平的增加,纤维素含量、半纤维素含量均呈下降的趋势。D3 密度水平下节间结构性碳水化合物含量最高。表明适宜的密度水平有利于结构碳水化合物含量的增加。

表 10 不同种植密度下对基部茎秆结构性碳水化合物含量的影响

种植密度	半纤维含量 (%)	纤维素含量 (%)	木质素含量 (%)
D1	22.68 ± 0.32a	31.27 ± 0.48a	8.64 ± 0.13ab
D2	21.80 ± 0.22a	30.99 ± 0.11a	8.66 ± 0.17a
D3	22.71 ± 0.69a	31.56 ± 0.28a	9.39 ± 0.75a
D4	22.22 ± 0.58a	29.95 ± 0.60b	7.67 ± 0.30b
F 值	2.493	6.18*	6.17*

2.3.5 抗倒指标间的相关分析 由表 11 可知,小麦抗倒伏指数与重心高呈显著负相关,与株高、基部节间长呈极显著负相关,表明抗倒伏受株高、重心高及节间长影响,小麦株高和重心高越低,则基部节间长越短,抗倒伏指数就越高,茎秆抗倒性能越强。基部第二节间壁厚、干质量、充实度、茎粗系数与抗倒伏指数呈正显著相关,小麦纤维素、木质素、壁厚与针刺力和抗折力呈正显著相关,小麦茎中纤维素和木质素含量越高,节间壁厚越厚,小麦抗折力和针刺力就越强,茎秆抗倒性能越强。表明小麦植株壁厚、株高、重心高、木质素含量、半纤维素含量等指标对小麦倒伏影响最大。

表 11 小麦抗倒指标间的相关性分析

指标	相关系数		
	针刺力	抗折力	抗倒伏指数
株高	-0.99**	-0.98**	-0.98**
重心高	-0.97**	-0.99**	-0.99**
节间长	-0.99**	-0.99**	-0.98**
抗倒伏指数	0.95*	1.00**	
节间壁厚	0.97**	0.98**	0.96**
节间干质量	0.99**	0.97*	0.97*
节间充实度	0.99**	0.96**	0.96**
半纤维素含量	0.62	0.80	0.83
纤维素含量	0.92*	0.90*	0.87
木质素含量	0.97**	0.89*	0.87
茎粗系数	0.99*	0.97**	0.97**
针刺力		0.95*	0.95*
抗折力	0.95*		1.00**

注: *、** 分别表示显著 ($P < 0.05$)、极显著 ($P < 0.01$) 相关。

3 讨论

种植密度对小麦产量和品质有明显的调控效应^[20-21]。有研究表明,低密处理导致小麦有效穗数不足,但增加穗粒数,籽粒产量降低^[22]。高密处理虽然提高了小麦的穗数、每穗粒数和千粒质量,但密度过大会导致冬小麦群体偏大,后期易倒伏,最终降低籽粒产量^[23]。樊继伟等研究发现,在一定范围内,增加种植密度能提高小麦产量^[24]。本研究表明,小麦产量随密度水平的增加呈先上升后降低的趋势,在 D3 密度水平下产量最高,与樊继伟等的研究结果^[24]一致。姚广平等的研究表明,随着密度增加,蛋白质含量、湿面筋和沉降值均呈上升趋势^[25]。本研究表明,小麦籽粒蛋白质含量和湿面筋含量均随密度水平的增加呈先上升后降低的趋势,在 D3 密度水平下籽粒蛋白质含量最高,与前人研究结果不一致,可能是密度水平设置不同导致的。可见,适宜的密度水平下有利于小麦产量的提高和品质的提升。

栽培措施是影响小麦植株倒伏的重要因素之一,其中种植密度影响最大^[26]。前人研究发现,基部节间的长度、针刺力、抗折力是决定倒伏能力的重要指标^[27]。基部第二节间壁厚、茎粗系数、节间充实度也是影响小麦抗倒伏性的重要指标^[28]。本研究通过相关分析结果得出植株形态特征及抗倒伏性能均达显著影响,小麦株高、重心高、节间长对小麦抗倒伏有显著负影响,在 D3 密度水平下株高、重心高度和基部节间长最低;小麦茎秆抗折力、针刺力最大,抗倒伏指数最高。小麦抗倒伏与结构性碳水化合物含量之间关系紧密^[29]。王丹等的研究表明,抗倒伏指数与纤维素、半纤维素、木质素含量呈显著正相关^[30]。本研究表明,小麦结构碳水化合物在 D3 密度水平含量最高,纤维素、木质素含量与针刺力、抗折力呈极显著正相关,而小麦茎秆纤维素等碳水化合物与抗倒伏指数无显著影响,这与王丹等的研究结果不一致,可能因气候等环境因素及品种的不同而造成的差异。可见,适宜的密度水平有利于茎秆抗倒能力的提高。

淀粉粒度分布特征受基因型控制和栽培环境因素共同影响^[31]。前人研究发现,硬质小麦 B、A 型淀粉粒体积百分比分别为 30.80% ~ 45.65%、54.35% ~ 69.20%^[15],而中筋小麦籽粒 B、A 型淀粉粒体积百分比分别约为 49%、51%^[30]。本研究

表明,软质小麦 B、A 型淀粉粒体积百分比分别为 33.29% ~ 36.05%、63.95% ~ 66.71%,与谭植等的研究结果一致。可见软质小麦较硬质小麦有比例更高的 A 型淀粉粒。许倍铭等的研究表明,A 型淀粉粒体积、表面积和数量分布百分比随种植密度水平增加均呈上升趋势^[32]。本研究表明,随着密度水平的提高,B 型淀粉粒体积、表面积百分比呈上升的趋势,A 型淀粉粒体积、表面积百分比呈下降的趋势。在 B 型淀粉粒中,密度对粒径 0.1 ~ 2.8 μm 淀粉粒组体积百分比的影响较大,在 A 型淀粉粒中,密度对粒径 10 ~ 22 μm 淀粉粒组表面积百分比影响较大。小麦淀粉的糊化特性数值大小是衡量淀粉品质的重要指标,对加工品质有显著影响^[33]。马冬云等研究发现,A 型淀粉粒的峰值黏度、低谷黏度、最终黏度和回升值高于 B 型淀粉粒^[34]。本研究表明,种植密度显著提高了 B 型淀粉粒体积和表面积占比,低谷黏度、峰值黏度和最终黏度等黏度参数随着密度水平的提高呈先上升后降低的趋势,在 D3 密度水平下糊化黏度参数数值最高。可见,适宜的密度水平有利于 B 型淀粉粒体积的增加和表面积增大,进而提高淀粉的黏度参数。

4 结论

本研究表明,适宜的密度能调控籽粒淀粉粒度分布,即显著提高了 B 型淀粉粒体积和表面积的比例,进而改变糊化特性和提高了峰值黏度、低谷黏度等参数;同时适宜的密度能提高小麦抗倒伏性能,有利于实现其产量和品质同步提高。种植密度对荃麦 725 产量与品质影响较大,种植密度为 300 万株/hm² 时产量最高,株高、重心高等植株形态特征最适宜,机械强度和抗倒性能最强,淀粉品质好。因此在本试验条件下,较适宜的种植密度应为 300 万株/hm²。

参考文献:

[1] 施德云,徐波,王其飞,等. 浙江省不同生态条件对小麦产量和品质的影响[J]. 麦类作物学报,2023,43(6):775-783.

[2] 刘丰,蒋佳丽,周琴,等. 美国软麦籽粒品质变化趋势及对我国弱筋小麦标准达标度分析[J]. 中国农业科学,2022,55(19):3723-3737.

[3] 郑文寅,胡泽林,程颖,等. 安徽麦区软质小麦籽粒品质和终端制品品质评价[J]. 麦类作物学报,2023,43(2):182-189.

[4] 汤永禄,吴元奇,朱华忠,等. 四川小麦主栽品种的品质性状表现及其稳定性[J]. 作物学报,2010,36(11):1910-1920.

[5] 姬兴杰,胡莉婷,胡学旭. 中国小麦主产省不同筋型冬小麦品质

形成的气候条件分析[J]. 麦类作物学报,2023,43(3):379-390.

[6] 孙盈盈,王超,王瑞霞,等. 小麦倒伏原因、机理及其对产量和品质影响研究进展[J]. 农学学报,2022,12(3):1-5.

[7] 张培文,闫素辉,张从宇,等. 沿淮地区小麦茎秆抗倒伏能力与基部节间性状的关系[J]. 江汉大学学报(自然科学版),2022,50(5):41-49.

[8] 韩金玲,杨晴,周印富,等. 冀东地区种植密度对小麦京冬 8 号抗倒伏能力和产量的影响[J]. 麦类作物学报,2015,35(5):667-673.

[9] 张明伟,王慧,董召娣,等. 扬麦系列品种植株抗倒性能的演变及与茎秆性状的关系[J]. 麦类作物学报,2016,36(9):1199-1208.

[10] 蔡雨佳,杨凯钧,王德鹏,等. 不同小麦品种淀粉粒径的比较研究[J]. 山东农业科学,2021,53(7):46-50.

[11] 李文阳,卢继承,闫素辉,等. 施氮水平对小麦籽粒淀粉粒分布与加工品质的影响[J]. 麦类作物学报,2012,32(2):297-302.

[12] Yan H, Lu Q. Effect of A- and B-granules of wheat starch on Chinese noodle quality[J]. Journal of Cereal Science, 2020, 91: 102860-102860.

[13] 高欣,郭雷,单宝雪,等. 淀粉颗粒类型及其比例在小麦品质特性形成与改良中的作用[J]. 作物学报,2023,49(6):1447-1454.

[14] Keres I, Alaru M, Talgre L, et al. Impact of weather conditions and farming systems on size distribution of starch granules and flour yield of winter wheat[J]. Agriculture, 2020, 10(1):3390-3398.

[15] 谭植,李瑞,吴培金,等. 钾肥对弱筋小麦淀粉粒度分布与黏度参数的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2020,46(5):507-512.

[16] 张润琪,付凯勇,李超,等. 磷素对小麦淀粉粒微观特性的影响及其形成机理[J]. 中国农业科学,2017,50(22):4235-4246.

[17] 蔡瑞国,尹燕桦,赵发茂,等. 强筋小麦胚乳淀粉粒度分布特征及其对弱光的响应[J]. 中国农业科学,2008,41(5):1308-1316.

[18] 尚赏,胡启国,郭书亚,等. 种植密度对黄淮海夏玉米品种倒伏率与茎秆抗倒特性的影响[J]. 山西农业科学,2018,46(8):1282-1285.

[19] 张红漫,郑荣平,陈敬文,等. NREL 法测定木质纤维素原料组分的含量[J]. 分析试验室,2010,29(11):15-18.

[20] 王鑫炜,任爱霞,孙敏,等. 播量对宽幅条播冬小麦群体结构和干物质积累分配的影响[J]. 麦类作物学报,2021,41(10):1272-1280.

[21] 郭瑞,黄晓高,温明星,等. 追氮量和种植密度对春性强筋小麦镇麦 12 号籽粒产量和品质的影响[J]. 核农学报,2020,34(8):1834-1839.

[22] 王慧,朱冬梅,高致富,等. 播期与密度组合对不同小麦品种产量及抗倒性的影响[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版),2020,41(6):34-39.

[23] Xiu Z, Wen M Z, Shu X D, et al. Interactive effects of irrigation regime and planting density on grain yield and water use efficiency in winter wheat[J]. The Journal of Applied Ecology, 2021, 32(1): 163-174.

毋悦悦, 庞春花, 张永清, 等. 壳聚糖引发对盐胁迫下藜麦种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(4): 114–121.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.04.016

壳聚糖引发对盐胁迫下藜麦种子萌发和幼苗生长的影响

毋悦悦¹, 庞春花^{1,2}, 张永清^{2,3}, 康书瑜¹, 侯钰晨¹, 王嘉祺¹, 闫晶蓉¹

(1. 山西师范大学生命科学学院, 山西太原 030031; 2. 山西师范大学现代文理学院, 山西临汾 041000;
3. 山西师范大学地理科学学院, 山西太原 030031)

摘要:以陇藜一号为试验材料, 采用温室盆栽法, 设置4种壳聚糖(CTS)引发浓度(0、50、150、250 mg/L)和4种NaCl浓度(0、100、200、300 mmol/L)共16种处理, 探究不同引发浓度对不同梯度盐胁迫下藜麦种子萌发和幼苗生长的影响, 寻求在藜麦生产过程中利用壳聚糖来强化其耐盐碱性的理论依据。结果表明:(1)当CTS引发浓度为150 mg/L时, 藜麦种子的发芽率、发芽势和发芽指数均达峰值;(2)相同引发浓度下, 藜麦种子 α -淀粉酶活性与盐浓度成反比, 种子游离氨基酸含量和幼苗的株高、根长随着盐胁迫浓度的增加呈先升后降趋势, 抗氧化酶活性、丙二醛含量、渗透调节物质含量均随盐浓度的增加而升高;(3)在同一盐浓度下, 藜麦种子 α -淀粉酶活性、游离氨基酸含量, 幼苗的株高、苗长、抗氧化酶活性、渗透调节物质含量均随壳聚糖引发浓度的增加呈先升后降的变化趋势, 丙二醛含量则呈先降后升的变化趋势。结果表明, 不同浓度的壳聚糖引发能在一定程度上缓解盐胁迫对藜麦造成的伤害, 其中, 150 mg/L浓度引发效果最佳。

关键词:壳聚糖; 盐胁迫; 藜麦; 种子引发

中图分类号:S519.01 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)04-0114-08

藜麦(*Chenopodium quinoa* Willd.)是藜科藜属一年生双子叶植物, 原产于南美洲安第斯山区, 目

前在我国内蒙古、河北、山西、甘肃等20余省均有种植, 且种植面积逐年增加^[1]。藜麦不仅具有营养全面、比例均衡的优点^[2], 还具有耐寒、耐盐、耐旱等特性, 使其成为应对气候变化、提供营养和粮食安全的战略性作物^[3]。近年来, 学者们对藜麦的研究大多集中在营养价值、功能特性、相关制品及抗逆性等相关方面, 如何进一步提高藜麦耐盐碱性的研究报道较少。

土壤盐碱化是限制作物生长的重要逆境胁迫因

收稿日期:2023-04-26

基金项目:国家自然科学基金(编号:31571604);山西师范大学现代文理学院基础科研项目(编号:2019JCY15)。

作者简介:毋悦悦(1997—),女,山西运城人,硕士研究生,主要从事植物生理生态方面的研究。E-mail:13610695263@163.com。

通信作者:庞春花,硕士,教授,主要从事植物生理生态方面的研究工作。E-mail:pangch6269@126.com。

[24] 樊继伟, 王康君, 张广旭, 等. 黄淮海区不同小麦品种氮素利用差异分析[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(4): 43–51.

[25] 姚广平, 汪娟梅, 张睿, 等. 关中中部灌区播期密度对农大399小麦产量和品质的效应[J]. 西安文理学院学报(自然科学版), 2018, 21(5): 71–77.

[26] 刘庆芳, 苏玉环, 马永安, 等. 不同小麦品种的茎秆特性与抗倒性[J]. 贵州农业科学, 2022, 50(5): 48–54.

[27] 孟令志, 买春艳, 于立强, 等. 黄淮冬麦区部分小麦品种(系)抗倒伏相关性状分析[J]. 麦类作物学报, 2016, 36(7): 888–895.

[28] 姚金保, 马鸿翔, 姚国才, 等. 小麦抗倒性研究进展[J]. 植物遗传资源学报, 2013, 14(2): 208–213.

[29] 邵庆勤, 万成, 李晓庆, 等. 取样后处理措施对小麦抗倒伏性状测定结果的影响[J]. 南京农业大学学报, 2019, 42(4): 632–640.

[30] 王丹, 丁位华, 冯素伟, 等. 不同小麦品种茎秆特性及其与抗倒性的关系[J]. 应用生态学报, 2016, 27(5): 1496–1502.

[31] Dai Z, Yin Y, Zhang M, et al. Distribution of starch granule size in grains of wheat grown under irrigated and rainfed conditions[J]. Acta Agronomica Sinica, 2008, 34(5): 795–802.

[32] 许倍铭, 冯健超, 郝紫瑞, 等. 种植密度对不同小麦品种籽粒淀粉含量及其特性的影响[J]. 麦类作物学报, 2022, 42(9): 1109–1116.

[33] 穆培源, 何中虎, 徐兆华, 等. CIMMYT普通小麦品系Waxy蛋白类型及淀粉糊化特性研究[J]. 作物学报, 2006(7): 1071–1075.

[34] 马冬云, 郭天财, 王晨阳, 等. 施氮水平对小麦籽粒淀粉粒度分布及淀粉粒糊化特性的影响[J]. 西北农业学报, 2010, 19(11): 43–47.